

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/003334

International filing date: 30 March 2005 (30.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 015 590.9  
Filing date: 30 March 2004 (30.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 27 April 2005 (27.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

EPOS / 3334

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 015 590.9

**Anmeldetag:** 30. März 2004

**Anmelder/Inhaber:** YXLON International Security GmbH,  
22419 Hamburg/DE

**Bezeichnung:** Anodenmodul für eine Flüssigmetallanoden-Röntgen-  
quelle sowie Röntgenstrahler mit einem Anodenmo-  
dul

**IPC:** H 01 J 35/18

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. April 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

  
Sleoh

Anodenmodul für eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle sowie  
Röntgenstrahler mit einem Anodenmodul

Die Erfindung befasst sich mit einem Anodenmodul für eine  
5 Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle, die im Fokusbereich ein  
Elektroneneintrittsfenster aufweist. Darüber hinaus befasst  
sich die Erfindung mit einem Röntgenstrahler mit einem  
solchen Anodenmodul.

10 Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen werden seit kurzer Zeit  
Flüssigmetallanoden verwendet. Diese Technologie wird LIMAX  
(Liquid Metal Anode X-Ray) genannt. Bei der Erzeugung von  
Röntgenstrahlen wird die Flüssigmetallanode mit einem  
Elektronenstrahl beschossen. Dadurch erwärmt sich die  
15 Flüssigmetallanode – wie jede feste Anode – erheblich. Die  
entstehende Wärme muss aus dem Fokusbereich abgeführt werden,  
damit sich die Anode nicht überhitzt. Dies erfolgt in  
Flüssigmetallanoden mittels turbulenten Massentransports,  
Konvektions-, Leitungs- und Elektronendiffusionsvorgängen. Im  
20 Fokusbereich, in dem die Elektronen auf die  
Flüssigmetallanode auftreffen, weist das Leitungssystem der  
Flüssigmetallanode ein Elektronenfenster auf. Dies besteht  
aus einer dünnen Metallfolie, die so dünn ist, dass die  
Elektronen in ihr nur einen geringen Teil ihrer  
Bewegungsenergie verlieren. Die Ausbeute an Röntgenstrahlung  
unter 90° zum einfallenden Elektronenstrahl ist jedoch nicht  
sehr hoch.

Aufgabe der Erfindung ist es deswegen, ein Anodenmodul für  
30 eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle sowie einen  
Röntgenstrahler vorzustellen, bei der eine höhere Ausbeute an  
Röntgenstrahlung erreicht wird.

Die Aufgabe wird durch ein Anodenmodul für eine  
35 Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle mit den Merkmalen des  
Patentanspruchs 1 gelöst. Da die durch die Wechselwirkung der  
auf die Flüssigmetallanode auftreffenden Elektronen mit

dieser erzeugte Röntgenstrahlung nicht isotrop ist, sondern in Flugrichtung der Elektronen ausgerichtet ist, ist es vorteilhaft, die in Vorwärtsrichtung des Elektronenstrahls erzeugte Röntgenstrahlung aus der Flüssigmetallanode zu verwenden. Der Winkel zum einfallenden Elektronenstrahl, unter dem ein Maximum an Röntgenstrahlung emittiert wird, hängt insbesondere von der Energie der einfallenden Elektronen ab. Je relativistischer die Elektronen sind – also das Verhältnis zwischen Elektronenenergie  $E_0$  und Ruhemasse des Elektrons von 511 keV gegen 1 strebt –, desto signifikanter wird diese Anisotropie. Erfindungsgemäß wird die Ausbeute an Röntgenstrahlung dadurch erhöht, dass das Röntgenstrahlenaustrittsfenster nicht unter  $90^\circ$  zum einfallenden Elektronenstrahl angeordnet ist sondern unter einem geringen Winkel – dem Austrittswinkel der Röntgenstrahlung – also in Vorwärtsrichtung. Der optimale Winkel hängt dabei stark von der Elektronenenergie ab, wobei er bei einer Elektronenenergie  $E_0 = 500$  keV  $15^\circ$  beträgt.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Elektronenaustrittsfenster eine Metallfolie, insbesondere aus Wolfram, mit einer Dicke von 5 bis 30  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 15  $\mu\text{m}$ , ist. Bei einer solchen Dicke erfolgt nur ein sehr geringer Verlust der Elektronenenergie im Elektroneneintrittsfenster. Bei einer Dicke von 15  $\mu\text{m}$  sind dies nur 5 % der Elektronenenergie. Hinsichtlich der Dicke des Elektroneneintrittsfensters muss jedoch ein Kompromiss aufgrund dessen mechanischer Stabilität eingegangen werden. Ein zu dünnes Elektroneneintrittsfenster würde den mechanischen Gegebenheiten innerhalb des Anodenmoduls, insbesondere dem Flüssigkeitsdruck und dem auftretenden Scherkräften, nicht mehr gerecht und instabil werden oder sogar zerspringen. Das Elektroneneintrittsfenster kann zur Erfüllung der vorgenannten Erfordernisse auch als ein Diamantfilm, ein keramischen Werkstoff oder ein Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, ausgebildet sein.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Röntgenstrahlenaustrittsfenster ein Stahlblech mit einer Dicke von 100 bis 400  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 250  $\mu\text{m}$ , ist. Da im Röntgenstrahlenaustrittsfenster eine  
5 Wechselwirkung mit den austretenden Röntgenstrahlen erfolgt, darf dieses nicht zu dick sein. Die optimale Dicke hängt davon ab, welcher Schwächungsgrad akzeptabel ist und welche mittlere Energie der Röntgenstrahlung erhalten werden soll. Darüber hinaus setzt auch die mechanische Stabilität des  
10 Röntgenstrahlenaustrittsfensters eine untere Grenze für deren Dicke.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Anodenmodul im Fokusbereich eine Dicke in  
15 Richtung des einfallenden Elektronenstrahls von 100 bis 350  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 200  $\mu\text{m}$ , hat. Aufgrund der Eindringtiefe der Elektronen in die Flüssigmetallanode ist es möglich, die Dicke des Anodenmodul im Fokusbereich in einem gewissen Bereich zu variieren. Dieser Bereich wird stark dadurch  
20 begrenzt, dass die produzierten Röntgenstrahlen noch quer durch das gesamte Flüssigmetall (je nach Winkel, unter dem das Röntgenstrahlenaustrittsfenster angeordnet ist, ist dieser Weg länger oder kürzer) hindurch treten muss. Eine zu große Dicke ist nicht möglich, da die Röntgenstrahlenausbeute übermäßig durch Selbstabsorption im Flüssigmetall verringert würde.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Anodenmodul im Fokusbereich einen  
30 Einschnürkanal in Richtung des einfallenden Elektronenstrahls aufweist und außerhalb des Fokusbereichs eine Dicke von 5 bis 10 mm, bevorzugt von 8 mm, hat. Dadurch ist es möglich, dass die oben ausgeführten sehr geringen Maße lediglich im Anodenmodul, um den Fokusbereich herum, eingehalten werden  
35 müssen und die gesamte andere Leitung einen erheblich größeren Querschnitt aufweisen kann. Somit können billigere

Pumpen zur Umwälzung des Flüssigmetalls verwendet werden und die Flüssigmetallanode wird dadurch bedeutend preiswerter.

5 Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Fokusbereich parallel zur YZ-Ebene verläuft, die senkrecht auf die Flussrichtung des Flüssigmetalls steht. Damit wird beispielsweise bei einem zylindermantelförmig ausgebildeten Elektroneneintrittsfenster dafür gesorgt, dass der Fokusbereich im Wesentlichen auf einer Geraden verläuft  
10 und somit nicht unterschiedlich lange Wege durch die Flüssigmetallanode gegeben sind. Aufgrund der gegebenen Definition der YZ-Ebene verläuft die X-Achse entlang der Flussrichtung des Flüssigmetalls. Die Y-Achse ist dabei parallel zur Achse des zylinderförmigen  
15 Elektroneneintrittsfensters ausgerichtet und die Z-Achse entlang eines Radius des zylinderförmigen Elektroneneintrittsfensters.

20 Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Einfallswinkel zwischen der Einfallrichtung des Elektronenstrahls und der Z-Achse zwischen  $5^\circ$  und  $65^\circ$ , bevorzugt  $50^\circ$ , beträgt. Dadurch wird erreicht, dass der Fokusbereich bei gleichen Elektronenstrahlabmessungen größer wird, da die projizierte Fläche größer ist. Der tatsächliche Fokusbereich, der der Auftrefffläche der Elektronen entspricht, wird dadurch vergrößert. Dies führt dazu, dass die entstehende Wärme besser abgeführt wird und somit höhere Leistungen eingestrahlt werden können.

30 Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Einfallswinkel, der Anodenwinkel und der Austrittswinkel alle in der YZ-Ebene liegen. Dadurch wird eine hervorragende Ausbeute hinsichtlich der erzeugten Röntgenstrahlen im Verhältnis zu den einfallenden Elektronen  
35 erreicht.

Darüber hinaus wird die Aufgabe auch von einem Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen und einen beim Auftreffen der Elektronen Röntgenstrahlen emittierenden Flüssigmetallanode, die ein Anodenmodul gemäß einer der vorstehend beschriebenen Ausgestaltungen aufweist, gelöst.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung sind anhand des in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines schematisch dargestellten Ausschnitts aus einer erfindungsgemäßen Leitung um den Fokusbereich herum,
- Fig. 2 einen Querschnitt durch das Anodenmodul der Fig. 1 entlang der XZ-Ebene,
- Fig. 3 einen Ausschnitt eines Elektroneneintrittsfensters des Anodenmoduls aus den Figuren 1 und 2 mit den interessierenden Winkeln und
- Fig. 4 ein Diagramm zur vorwärts gerichteten Emission von Röntgenbremsstrahlung.

Wie oben schon ausgeführt, ist die Winkelverteilung der erzeugten Röntgenbremsstrahlung nicht isotrop sondern in Richtung der Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 ausgerichtet. Diese Anisotropie ist umso ausgeprägter, je hochenergetischer die Elektronen werden. Bei einer Elektronenenergie von  $E_0 = 500 \text{ keV}$  wird das Maximum der Bremsstrahlung unter einem Winkel von ungefähr  $15^\circ$  zur Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 emittiert. In Fig. 2 wird das Verhältnis der Röntgenstrahlausbeute unter  $15^\circ$  zur Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 zur Röntgenstrahlausbeute unter  $90^\circ$  zur Elektronenflugrichtung 5

des Elektronenstrahls 6 in Abhängigkeit der relativen Photonenenergie dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass es sich hierbei ungefähr um einen Faktor 35 handelt, um den die Emission von Röntgenstrahlung unter einem Austrittswinkel  $\Theta$  von 15° höher ist als diejenige unter 90°. Der Faktor wird umso höher, je näher man an den „Spitzenbereich“ des Spektrums kommt, in dem die Photonenenergie ungefähr gleich groß ist wie die Elektronenenergie.

10 Aufgrund dieses Verhältnisses ist in den Figuren 1 und 2 ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel für ein Anodenmodul 1 für eine Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle dargestellt, bei der in Fokusbereich 2 ein Elektroneneintrittsfenster 3 und diesem gegenüberliegend ein Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4  
15 ausgebildet sind. Dieses Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 ist so angeordnet, dass unter dem oben angegebenen Austrittswinkel  $\Theta$  der Röntgenstrahlen 7 von 15° gegenüber der Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 angeordnet. Im Querschnitt der Figur 2 ist zu erkennen, dass sowohl der  
20 einfallende Elektronenstrahl 6 als auch der austretende Röntgenstrahl 7 in der YZ-Ebene verlaufen. Hier ist als Röntgenstrahl 7 jedoch nur der Zentralstrahl dargestellt. Dagegen erkennt man in Figur 1 sehr gut, dass es sich um einen divergierenden Röntgenstrahl 7 handelt, der jedoch keinen kreisförmigen Querschnitt aufweist sondern eine unterschiedliche Breite B und Höhe H hat. In der Darstellung ist der Querschnitt rechteckig dargestellt. Dies dient lediglich zur einfacheren Anschauung. Der Querschnitt ist in Realität eher elliptisch aufgrund der physikalischen und  
30 mathematischen Gegebenheiten bei der Erzeugung der Röntgenstrahlen 7 im Anodenmodul 1. Die Breite B liegt ungefähr in einem Winkelbereich von  $\pm 20^\circ$  um den Zentralstrahl der Röntgenstrahlen 7. Dagegen liegt die Höhe H lediglich in einem Winkelbereich von ca.  $\pm 5^\circ$  um den Zentralstrahl. Somit  
35 ergibt sich ein Verhältnis zwischen der Breite B und der Höhe H von ca. 4. Dieses Verhältnis hängt jedoch wieder stark davon ab, welche Energie der einfallende Elektronenstrahl 6



hat, welche Materialien für das Elektroneneintrittsfenster 3, das Röntgenstrahl Austrittsfenster 4 verwendet werden sowie davon, welches Flüssigmetall 10 verwendet wird. Außerdem spielt es auch eine starke Rolle, unter welchem  
5 Einfallswinkel  $\alpha$  der Elektronenstrahl 6 auf das Elektroneneintrittsfenster 3 fällt.

Das Anodenmodul 1 muss insbesondere im Fokusbereich 2 einige geometrische Anforderungen erfüllen, damit durch das  
10 Röntgenstrahl Austrittsfenster 4 ein möglichst intensiver Röntgenstrahl 7 austritt. Diese geometrischen Voraussetzungen hängen stark von den verwendeten Materialien – beispielsweise für das Elektroneneintrittsfenster 3, das Röntgenstrahl Austrittsfenster 4, das verwendete  
15 Flüssigmetall – sowie von der Energie des Elektronenstrahls 6 ab.

Die Dicke des Elektroneneintrittsfensters 3 kann aus der Thomson-Whiddington-Gleichung hergeleitet werden. Diese  
20 lautet

$$x = \frac{(E_0^2 - E^2)}{b\rho}$$

$E_0$  ist die Elektronenenergie und  $x$  die beabsichtigte Reichweite, die zur Reduzierung der mittleren Elektronenenergie auf die Energie  $E$  nötig ist.  $\rho$  ist der Wert der Dichte des verwendeten Materials für das Elektroneneintrittsfenster 3. Die Bezeichnung  $b$  ist die Thomson-Whiddington-Konstante, die für das im vorliegenden  
30 Fall verwendete Elektroneneintrittsfenster 3 aus Wolfram einen Wert von  $8,5 \times 10^4 \text{ keV}^2 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  hat. Daraus ergibt sich für  $\rho \times x$  ein Wert von  $0,27 \text{ kg m}^{-2}$ . Für den Fall, dass nur 5 % der Elektronenenergie im Elektroneneintrittsfenster 3 verloren werden soll, ergibt sich für dieses eine Dicke von  
35 15  $\mu\text{m}$ .

Das Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 ist im Fokusbereich 2 an der dem Elektroneneintrittsfenster 3 entgegengesetzten Fläche des Anodenmoduls 1 angeordnet. Im vorliegenden Fall wurden als Eckdaten eine maximale Schwächung von 10 % der in  
5 der Flüssigmetallanode erzeugten Röntgenstrahlung bei einer mittleren Energie von 250 keV vorgegeben. Damit ergibt sich für ein Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 aus Stahl eine Dicke von 250  $\mu\text{m}$ .

10 Im Fokusbereich 2 ist die Leitung 11 in Form des Anodenmoduls 1 gegenüber dem Rest der Leitung 11 stark eingeschnürt, so dass ein Einschnürkanal 8 ausgebildet ist. Dieser  
Einschnürkanal 8 muss einen Kompromiss zwischen zwei konkurrierenden Faktoren erfüllen. Auf der einen Seite muss  
15 eine lange Weglänge der Elektronen in dem Flüssigmetall 10 gegeben sein, damit ein Maximum an Umwandlung der Elektronenenergie in Röntgenbremsstrahlung erfolgen kann. Dies entspricht einer großen Kanalhöhe parallel zur Einfallrichtung 5 des Elektronenstrahls 6 und senkrecht zur  
20 Flussrichtung 9 des Flüssigmetalls 10. Auf der anderen Seite muss die Kanalhöhe so gering wie möglich sein, damit die produzierten Röntgenstrahlen 7 nicht übermäßig durch Selbstabsorption im Flüssigmetall 10 gedämpft werden. Wenn man die Thomson-Whiddington-Gleichung auf das verwendete  
Flüssigmetall 10 (BiPbInSn) anwendet, erhält man für eine Kanalhöhe von ca. 200  $\mu\text{m}$  einen Verlust von 33 % der Elektronenenergie. Da eine größere Kanalhöhe nur zur  
Produktion relativ niederenergetischer Röntgenstrahlen 7 führt und gleichzeitig die Selbstabsorption der  
30 Röntgenstrahlen 7 im Flüssigmetall 10 anwächst, ist der vorgenannte Wert für die Kanalhöhe ein guter Kompromiss zwischen den beiden oben genannten Erfordernissen.

Die Elektronendiffusion über eine Tiefe von 200  $\mu\text{m}$  ist bei  
35 Weitem der wichtigste Prozess, der zum thermischen Transport der im Fokusbereich 2 entstandenen Wärme aufgrund der Wechselwirkung zwischen dem Elektronenstrahl 6 und dem

Flüssigmetall 10 führt. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von  $25 \text{ m s}^{-1}$  des Flüssigmetalls 10 ergibt sich aus dem Produkt der Kanalhöhe ( $200 \text{ }\mu\text{m}$ ), der Fokuslänge (hier  $5 \text{ mm}$ ) und der Flussgeschwindigkeit ( $25 \text{ m s}^{-1}$ ) das Volumen des Flüssigmetalls 10 pro Sekunde, in dem der Elektronenstrahl 6 seine Energie abgibt. Dadurch erhält man einen Materialfluss von  $2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Unter Verwendung von BiPbInSn als Flüssigmetall 10 erhält man aufgrund der Wärmekapazität ( $c_p = 0,263 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  bei  $65^\circ\text{C}$ ) und einer Dichte von  $\rho = 8,22 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  bei  $65^\circ\text{C}$ , dass die Flüssigmetallanoden-Röntgenröhre eine Gleichstromleistungsaufnahme von über  $25 \text{ kW}$  aufweist, wenn eine maximale Temperaturerhöhung von  $500^\circ\text{K}$  zulässig ist. Es ergibt sich dann eine effektive Fokusgröße von  $1 \text{ mm} \times 1,3 \text{ mm}$ .

15

In Figur 3 sind die einzelnen auftretenden Winkel dargestellt. Es ist ein Ausschnitt aus dem Elektroneneintrittsfenster 3 gezeigt. Die Flussrichtung 9 des Flüssigmetalls 10 verläuft entlang der X-Achse. Der entlang der Einfallrichtung 5 einfallende Elektronenstrahl 6 liegt in der YZ-Ebene. Er ist um den Einfallswinkel  $\alpha$  gegen die Z-Achse geneigt. Der aus dem Anodenmodul 1 entlang der Austrittsrichtung 12 austretende Röntgenstrahl 7 verläuft ebenfalls in der YZ-Ebene. Er ist jedoch nicht parallel zum Einfallswinkel  $\alpha$  sondern um den Austrittswinkel  $\theta$  auf die Y-Achse hin geneigt. Zwischen der Y-Achse und dem Röntgenstrahl 7 ist der Anodenwinkel  $\beta$  ausgebildet. Wenn man den oben schon ausgeführten Wert für den Austrittswinkel  $\theta$  der Röntgenstrahlung 7 von  $15^\circ$  betrachtet und einen Anodenwinkel  $\beta$  von  $25^\circ$  annimmt, so ergibt sich anhand einfacher geometrischer Überlegungen, dass der Einfallswinkel  $\alpha$  des Elektronenstrahls 6 einen Wert von  $50^\circ$  aufweisen muss. Möchte man den erzeugten Röntgenstrahl 7 unter einem anderen Anodenwinkel  $\beta$  betrachten, so ergibt sich bei konstant gehaltenem Austrittswinkel  $\theta$  der entsprechende Einfallswinkel  $\alpha$  aus der Gleichung  $\alpha + \beta + \theta = 90^\circ$ . Natürlich ist es auch möglich, den Austrittswinkel  $\theta$  zu ändern, was sich sofort

35

stark auf die Röntgenstrahlausbeute (siehe Figur 4) auswirkt. Je nachdem, unter welchem Anodenwinkel  $\beta$  man den Röntgenstrahl  $\gamma$  betrachtet, ergibt sich dann der Einfallswinkel  $\alpha$ .

5

Mit einer Flüssigmetallanoden-Röntgenröhre die ein dargestelltes erfindungsgemäßes Anodenmodul 1 aufweist, erhält man eine erhöhte Emission von hochenergetischen Photonen und eine hohe Gleichstromleistungsaufnahme mit einem gleichzeitig kleinen Fokusbereich 2. Eine solche

10

Flüssigmetallanoden-Röntgenröhre wird als Bestandteil eines erfindungsgemäßen Röntgenstrahlers mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen verwendet, wobei beim Auftreffen der Elektronen die gewünschten Röntgenstrahlen  $\gamma$  produziert

15

werden. Sie ist sehr hilfreich in Zoll- und Sicherheitsanwendungen inklusive CT-gestützter Gepäcküberwachung. Darüber hinaus kann sie auch sehr effektiv in der zerstörungsfreien Analyse von Werkstoffen oder der Überprüfung von Gussteilen, beispielsweise bezüglich

20

Schweißnähten von Felgen, verwendet werden.

### Bezugszeichenliste

1	Anodenmodul
2	Fokusbereich
3	Elektroneneintrittsfenster
4	Röntgenstrahl Austrittsfenster
5	Einfallrichtung
6	Elektronenstrahl
7	Röntgenstrahl
8	Einschnürkanal
9	Flussrichtung
10	Flüssigmetall
11	Leitung
12	Austrittsrichtung
B	Breite des Röntgenstrahls
H	Höhe des Röntgenstrahls
$\alpha$	Einfallswinkel des Elektronenstrahls
$\beta$	Anodenwinkel
$\theta$	Austrittswinkel der Röntgenstrahlung

## Patentansprüche

1. Anodenmodul (1) für eine Flüssigmetallanoden-  
Röntgenquelle, die im Fokusbereich (2) ein  
Elektroneneintrittsfenster (3) aufweist,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
dem Elektroneneintrittsfenster (3) ein  
Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) gegenüberliegt und  
der Austrittswinkel ( $\Theta$ ) der Röntgenstrahlen (7)  
zwischen einem durch das Elektroneneintrittsfenster (3)  
entlang der Einfallsrichtung (5) eintretenden  
Elektronenstrahl (6) und den durch das  
Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) austretenden  
Röntgenstrahlen (7) zwischen  $5^\circ$  und  $50^\circ$ , insbesondere  
 $15^\circ$ , beträgt.
2. Anodenmodul (1) nach Patentanspruch 1, dadurch  
gekennzeichnet, dass das Elektronenaustrittsfenster (3)  
eine Metallfolie, insbesondere aus Wolfram, mit einer  
Dicke von 5 bis 30  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 15  $\mu\text{m}$ , oder ein  
Diamantfilm, ein keramischen Werkstoff oder ein  
Einkristall, insbesondere aus kubischem Bornitrid, ist.
3. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden  
Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das  
Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) ein Stahlblech mit  
einer Dicke von 100 bis 400  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 250  $\mu\text{m}$ ,  
ist.
4. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden  
Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es im  
Fokusbereich (2) eine Dicke in Richtung des einfallenden  
Elektronenstrahls (6) von 100 bis 350  $\mu\text{m}$ , insbesondere  
von 200  $\mu\text{m}$ , hat.

5. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es im Fokusbereich (2) einen Einschnürkanal (8) in Richtung des einfallenden Elektronenstrahls (6) aufweist und außerhalb des Fokusbereichs (2) eine Dicke von 5 bis 10 mm, bevorzugt 8 mm, hat.
6. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektroneneintrittsfenster (3) senkrecht zur Flussrichtung (9) des Flüssigmetalls (10) konvex gebogen ist, insbesondere wie ein Teil eines Zylindermantels.
7. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Röntgenstrahlenaustrittsfenster (4) senkrecht zur Flussrichtung (9) des Flüssigmetalls (10) konkav gebogen ist, insbesondere wie ein Teil eines Zylindermantels.
8. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokuslänge 2 bis 8 mm, insbesondere 5 mm, beträgt.
9. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die effektive Fokusgröße 1 mm x 1,3 mm beträgt.
10. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Fokusbereich (2) parallel zur YZ-Ebene verläuft, die senkrecht auf die Flussrichtung (9) des Flüssigmetalls (10) steht.
11. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einfallswinkel ( $\alpha$ ) zwischen der Einfallrichtung (5) des

Elektronenstrahls (6) und der Z-Achse zwischen  $5^\circ$  und  $65^\circ$ , bevorzugt  $50^\circ$ , beträgt.

- 5 12. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Anodenwinkel ( $\beta$ ) zwischen der Austrittsrichtung (12) des Röntgenstrahls (7) und der Y-Achse zwischen  $10^\circ$  und  $50^\circ$ , bevorzugt  $20^\circ$ , beträgt.
- 10 13. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Einfallswinkel ( $\alpha$ ), der Anodenwinkel ( $\beta$ ) und der Austrittswinkel ( $\Theta$ ) alle in der YZ-Ebene liegen.
- 15 14. Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis zwischen der Breite (B) des Röntgenstrahls (7) und der Höhe (H) des Röntgenstrahls (7) in der XZ-Ebene zwischen 2 und 6, bevorzugt bei 4, liegt.
- 20 15. Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von Elektronen und einer beim Auftreffen der Elektronen Röntgenstrahlen (7) emittierenden Flüssigmetallanode, die ein Anodenmodul (1) nach einem der vorstehenden Patentansprüche aufweist.



### Zusammenfassung

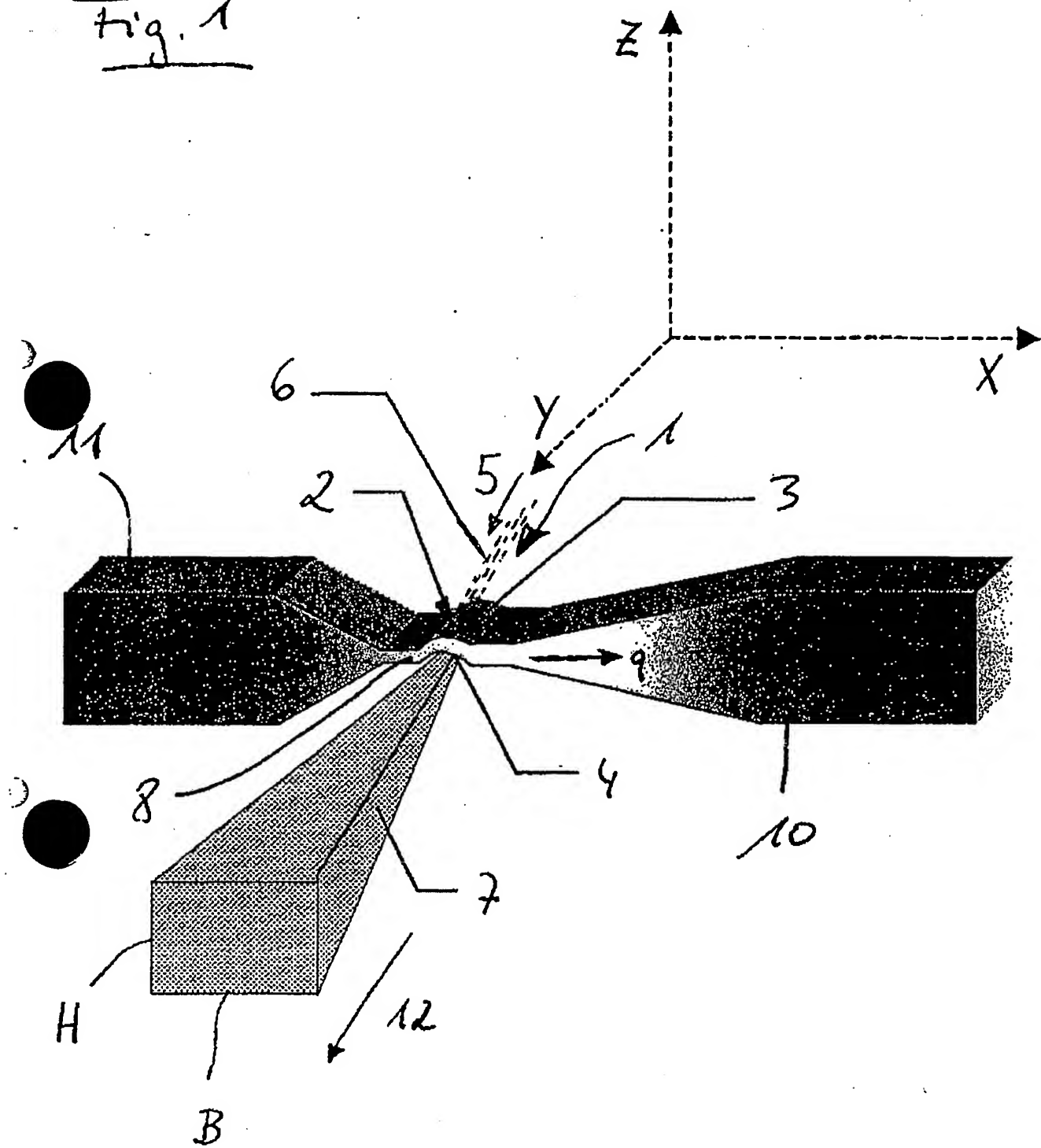
Die Erfindung befasst sich mit einem Anodenmodul 1 für eine  
5 Flüssigmetallanoden-Röntgenquelle, die im Fokusbereich 2 ein  
Elektroneneintrittsfenster 3 aufweist.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Anodenmodul 1 dem  
Elektroneneintrittsfenster 3 ein  
Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 gegenüberliegt und der  
10 Austrittswinkel  $\Theta$  der Röntgenstrahlen 7 zwischen einem durch  
das Elektroneneintrittsfenster 3 entlang der Einfallsrichtung  
5 eintretenden Elektronenstrahl 6 und den durch das  
Röntgenstrahlenaustrittsfenster 4 austretenden  
Röntgenstrahlen 7 zwischen  $5^\circ$  und  $50^\circ$ , insbesondere  $15^\circ$ ,  
15 beträgt.

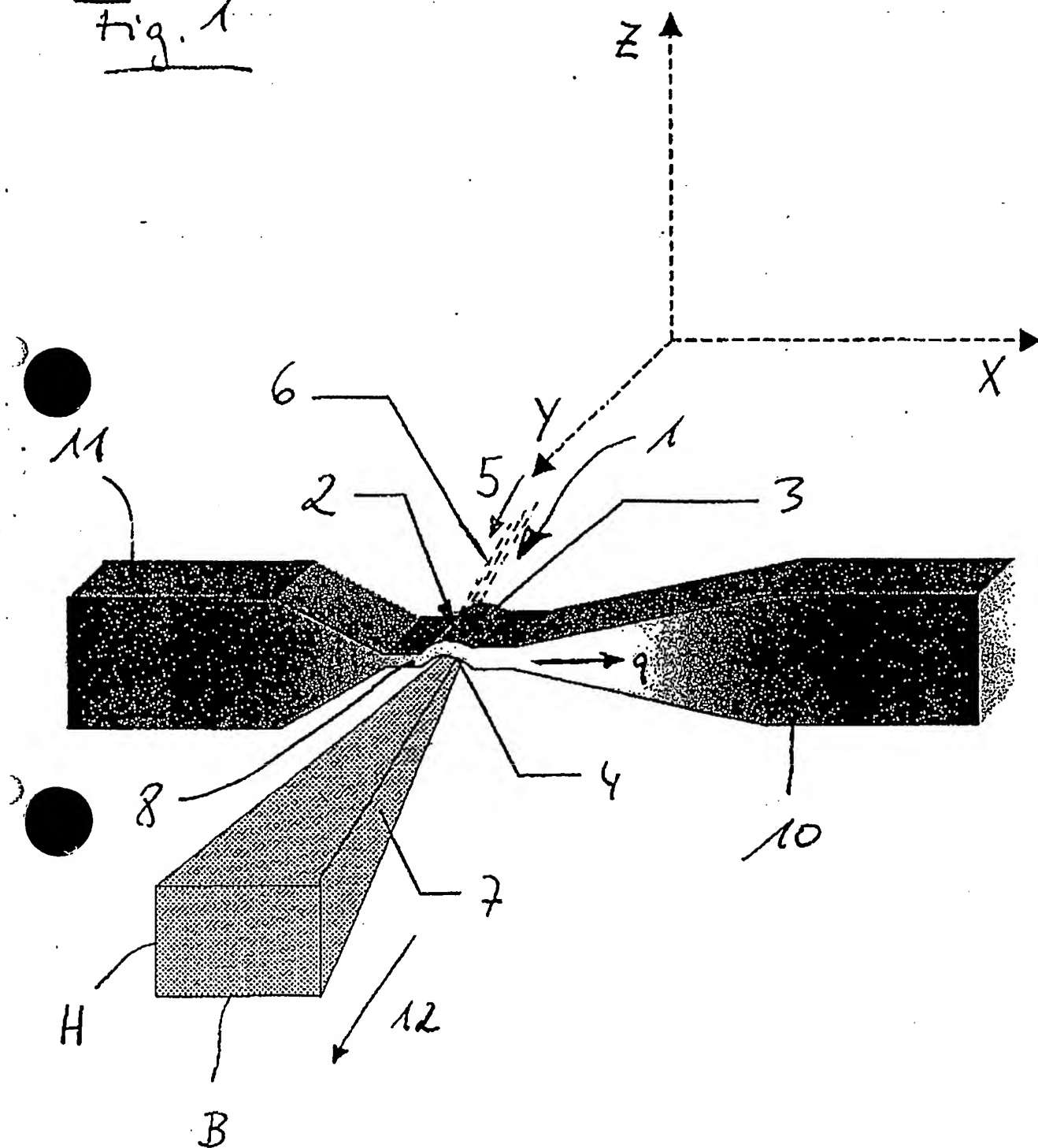
Die Erfindung befasst sich darüber hinaus mit einem  
Röntgenstrahler mit einer Elektronenquelle zur Emission von  
Elektronen und einem beim Auftreffen der Elektronen  
20 Röntgenstrahlen 7 emittierenden Flüssigmetallanode, die ein  
Anodenmodul 1 mit den oben genannten Merkmalen aufweist.

(Fig. 1)

Fig. 1



30.03.2004

Fig. 1

30.03.2004

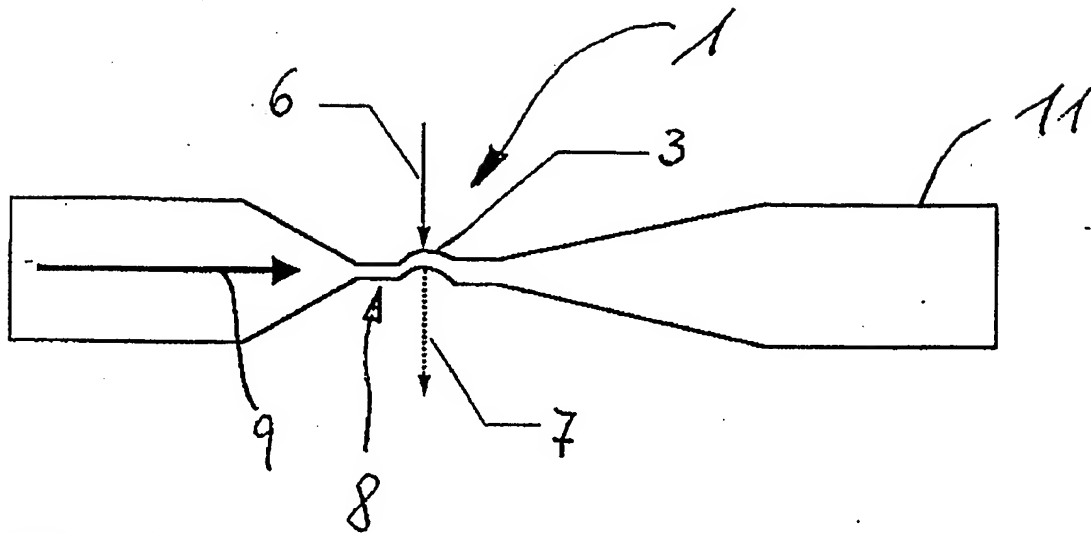


Fig. 2

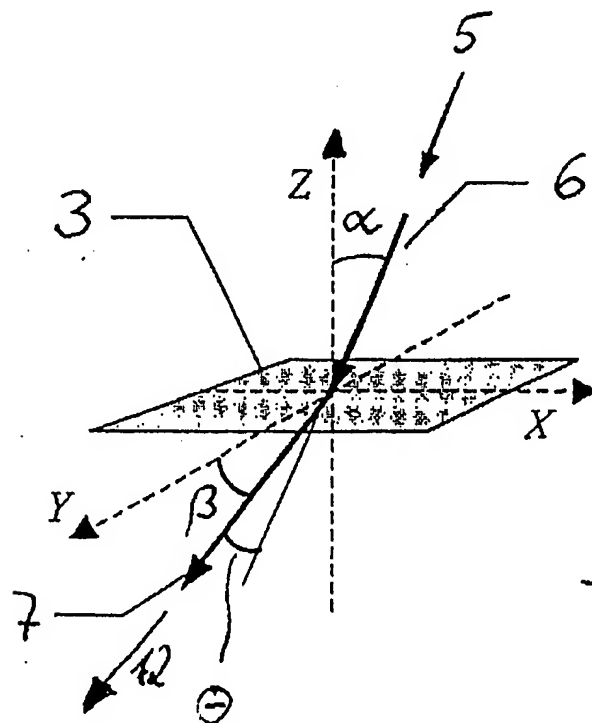


fig. 3

30.03.2004

Fig. 4